

氏名	オリズイスキー, ピオトル		
学位(専攻分野)	博 士(学 術)		
学位授与番号	博 甲 第 1129 号		
学位授与の日付	平成 5 年 3 月 28 日		
学位授与の要件	自然科学研究科生産開発科学専攻 (学位規則第 4 条第 1 項該当)		
学位論文題目	Numerical Analysis of Magnetic Fields by the Finite Element Method using Tetrahedral Edge Elements 四面体辺要素を用いた有限要素法による磁界の数値解析		
論文審査委員	教授 中田 高義	教授 谷口 健男	教授 加川 幸雄
	教授 山寄比登志	教授 山本 辰馬	

#### 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

This thesis investigates the solution of three-dimensional linear and non-linear, static and eddy current magnetic field problems by the finite element method. Three magnetic vector potential based formulations are considered. A novel element interpolation of the magnetic vector potential based on the Whitney 1-form edge type interpolation in tetrahedral element, is employed. It guarantees the continuity of the tangential component of the magnetic vector potential across material interfaces, the only one required by the variational formulation. The derivation of the Galerkin approximations using the new type of interpolation is presented and their numerical validity is demonstrated by means of several test problems. The finite element results are compared with experimental or closed form solutions obtained for these problems and it is shown that all discussed approximations yield accurate results which can be obtained more efficiently compared with the methods, employing conventional nodal shape functions. A method of modeling with precision source current distributions in excitation coils of complicated geometrical configuration is developed. An attempt to construct a new numerical model for soft anisotropic materials is undertaken and a successful implementation of one of the two essential parts of this model is given. In addition, a new, efficient algorithm for adaptive

refinement of tetrahedral meshes based on the Delaunay tessellation applied to each element locally, is developed. A new error estimation method used to identify elements for refinement suitable for the use with edge elements is also presented. The effectiveness of the refinement algorithm is demonstrated by its application to two magnetostatic test problems and it is shown that high accuracy solutions with minimum computational effort can be obtained by the new method.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、Whitney 等によって提案された「辺要素」を、四面体要素を用いた有限要素法に導入し、磁気ベクトルポテンシャルで三次元磁界解析の定式化を行っている。この方法は、磁気ベクトルポテンシャルの接線方向成分の連続性のみを保証しているため、計算時間が短くて精度が良いことが考えられる。そこで、辺要素に対する形状関数を導出し、空気層と磁性体層との接合条件、周期境界条件、ゲージ条件などについて詳細な検討を行うとともに、これを各種の例題に適用して、三次元非線形磁界解析を行い、その有用性を確かめている。さらに、Delaunay 等によって提唱された、正四面体に近い要素に細分割するアルゴリズムを、自動分割に応用することを試みている。実際に応用する際には、細分割を行う領域を決定するために、誤差評価を適切に行う必要があるが、これについても最適な方法を提案している。また、この方法で三次元静磁界モデルの自動細分割を行い、精度良い磁界解析が行えることを明らかにしている。方向性けい素鋼板のような異方性材料中の磁束分布の解析には、従来、磁束密度ベクトルを三つの方向の成分に分解して、それぞれについて通常の有限要素法を用いて解析する方法が用いられていたが、最近大きな誤差があることがわかってきた。そこで、磁界は磁性体中の磁気エネルギーが最小になるように分布することに着目し、磁気エネルギーを最小にする条件から、異方性媒質中の磁束分布を計算するとともに、実測結果と比較して問題点を指摘している。

以上を要するに、本論文は有限要素法による三次元磁界解析法の高速、高精度化のための有益な基礎的知見を与えており、学術上寄与するところが多い。

本論文の内容、参考論文及び最終試験を含めて総合的に審査した結果、本論文は博士(学術)の学位に値するものと認められる。